

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350461

研究課題名(和文)水による爆風圧低減化のメカニズム解明と応用

研究課題名(英文) Mechanism and application of blast-wave mitigation using water

研究代表者

保前 友高 (Homaе, Tomotaka)

富山高等専門学校・商船学科・教授

研究者番号：30470032

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、爆薬の爆発時、爆薬近傍に水を爆薬と接触しない状態で設置しても周囲の爆風圧が大きく減じる現象を対象として小スケール実験、数値解析を行い、以下を明らかにした。

1. 水を爆薬と接触させずに設置する場合、トンネル内等の閉空間での爆発時に大きな低減効果が見込める。
2. 爆発時に水はほとんど移動せず、爆発のエネルギーの水の運動エネルギーへの変換は低減化の要因ではない。
3. 爆薬直下に設置した水が爆風圧低減化に大きく寄与する。その他の箇所の水は爆風に大きな影響を与えない。
4. 爆発直後の強い爆風と水の干渉に伴う流体間でのエネルギー移動が低減化の主要因である。
5. 水は袋に入れて設置しても低減効果を示す。

研究成果の概要(英文)：A blast wave caused by an explosion of a high explosive is mitigated if water is placed near the explosive, but not contacted with the explosive. This phenomenon is studied by experiment and numerical analysis. The conclusions are as follows.

1. The mitigation effect by water is remarkably observed if the explosion occurs inside a closed region, such as a tunnel. 2. The water does not move apparently soon after the explosion. The conversion of explosion energy to kinetic energy of water is not the origin of the mitigation. 3. The water just under the explosive is dominant for mitigation. Water placed at the other part does not affect the mitigation obviously. 4. The numerical analysis concluded that the interaction between the powerful blast wave and the water soon after the explosion and the conversion of the explosion energy to the internal energy of the water is the main origin of mitigation. 5. Even the water is in a bag, it can also mitigate the blast pressure.

研究分野：爆発影響評価

キーワード：爆薬 爆発影響 爆風 水 低減 トンネル内爆発 小スケール実験 数値解析

1. 研究開始当初の背景

爆薬の爆発が周囲に及ぼす影響を低減化する方法の開発は、意図しない爆発やテロ攻撃による被害防止の観点から重要であり、従来から研究が行われてきている。

このうち、周辺における爆風圧を低減化するために、爆薬を水で囲む方法、爆薬近傍に水を配置する方法が有効であることが応募者による研究も含め、多数報告されている。

しかし、これらの低減化は、実験事実としては明らかであるが、そのメカニズムは必ずしも理解されているとは言い難い。低減化の主な要因として、水を飛散させることにより、爆発のエネルギーが水の運動エネルギーに変換することが考えられる。しかし、飛散量や速度を計測し、爆風低減との関係を論じた報告は見あたらない。また、水の蒸発の影響も考えられる。この他、特に爆薬直下に水がある場合、地表面等の固体に比べて衝撃波反射が弱くなるためとも考えられる。また、同容積の水と空気の熱容量の差による冷却効果も考えられる。このように、低減化のメカニズムには種々の要因が考えられるが、定量的な理解には至っていない。

水を用いた爆風圧低減化技術は、爆薬を取り扱う上での保安に有効であるが、水を保持するためのコストや、水による設備の劣化等の短所もあるため、効果的に用いるためには、低減化のメカニズムの解明が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、爆薬の爆発と爆薬とは接触しない状態で爆薬近傍に設置した水との相互作用により、周囲で爆風圧が低減化するメカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、実験、数値解析の両面から研究を進めた。

(1) 実験

本研究グループが独自に開発したテーブルトップの爆発影響評価システムを用いて研究を進めた。1g程度の爆薬(ペンスリットペレットと特別に製作した小型電気雷管)と縮小モデルを組み合わせたテーブルトップの爆発実験を行った。モデル内、およびモデル周辺の爆風圧を計測し、水の有無や配置状況、モデルの形状が水による爆風圧低減化に及ぼす影響を評価した。また、水と爆発生成ガスの挙動の可視化を行った。モデルを透明樹脂(アクリル樹脂)製とし、爆発直後の様子を高速カメラで記録することにより、衝撃波通過後の水の様子や、爆発生成ガスによる水の飛散速度などを明らかにした。

(2) 数値解析

水と爆風の挙動を評価する独自の数値解析コードを開発し、実験データを解釈した。特に、流体界面(空気と水)における温度差によって移動するエネルギーを定量的に評

価する数値解析手法の開発を行った。

4. 研究成果

(1) 縮小モデルを用いたテーブルトップ爆発影響評価実験

水による効果的な爆風圧低減が可能な構造(5. 主な発表論文等のうち、学会で報告した。引用方法は以下同じ。)

本研究では、まず、どのような状況で水を設置すると周囲の爆風圧を効果的に低減化できるか調べた。鋼板上に円形の窪みを作り、その中に水を満たし、供試火薬をその上(水と接触させずに)起爆した。窪みの上部に天井を設けた場合に水の影響が大きくなることが示された。水が爆薬と接触しない状態では、閉空間で爆風圧低減化の効果が大きくなることが分かった。

地下式火薬庫縮小モデル周囲の爆風圧評価(論文)

以上のことより、地下式火薬庫を模擬したモデルで研究を進めた。

鋼管で地下式火薬庫を模擬した縮小モデルを用いて、水の有無、水の量をパラメータとして、周囲の爆風圧を評価した。水の量が爆風圧低減効果に影響を及ぼすことを明らかにした。

アクリル樹脂製直管モデルを用いた爆風圧評価(論文, 学会)

閉空間であれば、地下式火薬庫のようにL字状となっていなくても水による爆風圧低減化が見込めることに着目し、より一般的なトンネル内での爆発(地下式火薬庫、地中式火薬庫等を含む)を模擬することとした。アクリル樹脂で直管の角管を作成し、水の設置位置をパラメータとし、周囲の爆風圧を評価する実験を行った。その結果、供試火薬の直下に水がある場合に爆風圧の低減効果が大きく、管のその他の部分に設置した水は、寄与が小さいことがわかった。爆発直後の爆風と直下に設置した水との相互作用が、爆風圧低減化の主要因であることを明らかにした。また、管内にも圧力センサーを設置し、直管を伝播する爆風波の挙動を調べた。水の設置の有無が爆風波の伝播挙動に影響を与えていないことを確認した。このことから爆発直後の爆発と水の相互作用が爆風圧低減化の主要因であることが裏付けられた。

また、同様のモデルを用いて爆薬周囲の壁面の材料を変えた実験を行った。アクリル樹脂製でもアルミニウム合金製でもモデル周囲の爆風圧に大きな差がなかったことから、爆薬周囲の材料の衝撃インピーダンスは低減化に大きく寄与しないことが明らかになった。

アクリル樹脂製直管モデルを用いた管内状況の可視化(論文, 学会)

上記の透明樹脂製の角管内での爆発実験

を行い、状況を高速度カメラで記録した。水を設置した場合でも、爆発後に大きな水の動きは確認できなかった。爆発のエネルギーから水の運動エネルギーへの変換は、爆風圧の低減化の要因ではないことを明らかにした。

実用化への試み(学会)

床面に水を配置することは実際のトンネル、火薬庫等では難しい。このため、袋入りの水を設置することを考え、テーブルトップ爆発実験により効果を検証した。袋入りの水でも爆風低減効果が得られ、設置場所は床面に限らないことを明らかにした。

(2) 数値解析(論文)

水と爆風の挙動を評価する独自の数値解析コードを開発し、実験データを解釈した。特に、流体界面(空気と水)における温度差によって移動するエネルギーを定量的に評価する数値解析手法の開発を行った。

その結果、管内において下記に示す2つのエネルギー移動メカニズムによって水の内部エネルギーが増加することが爆風圧低減の要因であることが示された。

1. 爆発直後の強い爆風と水の干渉に伴う流体間でのエネルギー移動

2. 管内を爆風が伝播する過程で生じる爆風後方の高温ガスと水の接触に伴うエネルギー移動

両者を比較すると、1.において大きなエネルギー移動が行われることから、爆発直下に水があることが顕著な爆風低減の要因であることが確認された。

また、管外を伝播する爆風低減効果について数値解析の結果は実験結果ともよく一致したことから、開発した数値解析手法は本研究以外の系においても水を用いた爆風低減効果を精度良く評価できることが期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

Y. Sugiyama, T. Homae, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Numerical study on the mitigation effect of water in the immediate vicinity of a high explosive on the blast wave, International Journal of Multiphase Flow, 査読有, 99 (2018), 467-473.

DOI:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.11.014

T. Homae, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Blast wave mitigation from the straight tube by using water Part I -Small scale experiment-, Materials Sci. Forum, 査読有, 910 (2018),

149-154.

DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.910.149

Y. Sugiyama, T. Homae, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Blast wave mitigation from the straight tube by using water Part II -Numerical simulation-, Materials Sci. Forum, 査読有, 910 (2018), 78-83.

DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.910.78

T. Homae, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Explosion Interaction with Water in a Tube, Proc. of SPIE, 査読有, 10328 (2017), 10328-1D-1-1D-6.

DOI:10.1117/12.2271021

Y. Sugiyama, T. Homae, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Numerical simulations of blast wave characteristics with a two-dimensional axisymmetric room model, Shock Waves, 査読有, 27 (2017), 615-622.

DOI:10.1007/s00193-016-0706-4

T. Homae, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Water and sand for blast pressure mitigation around a subsurface magazine, Sci. Tech. Energetic Materials, 査読有, 77 (2016), 18-21.

[学会発表](計16件)

T. Homae, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Blast mitigation by water in a bag on a tunnel floor, The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (2018).

T. Homae, K. Yamada, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Mitigation of blast wave from subsurface/underground magazine using water, The 6th International Symposium on Energetic Materials and Their Applications (2017).

T. Homae, K. Yamada, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Factor in mitigation of blast wave from subsurface magazine using water, 4th Korean International Symposium on High Energy Materials (2017).

Y. Sugiyama, T. Homae, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Numerical

simulation of the mitigation mechanism of a blast wave from a straight tube using water, The ninth JSME-KMSE Thermal and Fluids Engineering Conference (2017).

杉山勇太, 保前友高, 若林邦彦, 松村知治, 中山良男, 直管内の水位置による爆風圧低減の違いに関する数値解析, 安全工学シンポジウム 2017 (2017).

保前友高, 杉山勇太, 若林邦彦, 松村知治, 中山良男, 地中式/地下式火薬庫縮小モデルの火薬周囲の材料が爆風に与える影響, 火薬学会 2017 年度春季研究発表会 (2017)

T. Homae, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Interaction between Explosion of Explosives and Water in a Tube, 31st International Congress on High-speed Imaging and Photonics (2016).

T. Homae, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Blast wave mitigation from the straight tube by using water Part I -Small scale experiment-, Fifth International Symposium on Explosion, Shock wave and High-strain-rate Phenomena (2016).

Y. Sugiyama, T. Homae, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Blast wave mitigation from the straight tube by using water Part II -Numerical simulation-, Fifth International Symposium on Explosion, Shock wave and High-strain-rate Phenomena (2016).

杉山勇太, 保前友高, 中山良男, 爆風低減に対する水の適用可能性に関する研究, 安全工学シンポジウム 2016 (2016).

保前友高, 杉山勇太, 若林邦彦, 松村知治, 中山良男, 直管モデル内に配置した水による爆風減衰に関する研究(1)実験, 火薬学会 2016 年度春季研究発表会 (2016) .

杉山勇太, 保前友高, 中山良男, 直管モデル内に配置した水による爆風減衰に関する研究(2)数値解析, 火薬学会 2016 年度春季研究発表会 (2016) .

杉山勇太, 保前友高, 中山良男, 軸対称閉空間から発生する爆風特性に関する数値解析, 火薬学会 2016 年度春季研究発表会 (2016) .

杉山勇太, 保前友高, 中山良男, 軸対称閉空間モデルから発生する爆風強さについて, 平成 27 年度衝撃波シンポジウム (2016) .

保前友高, 松尾亜希子, 杉山勇太, 若林邦彦, 松村知治, 中山良男, 軸対称モデルを用いた水による爆風圧低減化メカニズムの検討, 火薬学会 2015 年度春季研究発表会 (2015) .

T. Homae, A. Matsuo, Y. Sugiyama, K. Wakabayashi, T. Matsumura, and Y. Nakayama, Evaluation of blast pressure around a subsurface magazine and its mitigation using water, The 5th International Symposium on Energetic Materials and Their Applications (2014).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保前 友高 (HOMAE Tomotaka)
富山高等専門学校・商船学科・教授
研究者番号: 3 0 4 7 0 0 3 2

(2) 研究分担者

中山 良男 (NAKAYAMA Yoshio)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・
企画本部・総括主幹
研究者番号: 2 0 3 5 7 6 7 7

杉山 勇太 (SUGIYAMA Yuta)
国立研究開発法人産業技術総合研究所・
エネルギー・環境領域・主任研究員
研究者番号: 3 0 7 1 1 9 4 9